

**ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGATURAN RELAI
ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA
TRAFO III 60MVA 150/20 kV DI GARDU INDUK 150kV
PALUR**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

RUFU'UL JANAH

D 400 140 124

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PERHITUNGAN DAN PENGATURAN RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI
GANGGUAN TANAH PADA TRAFO III 60MVA 150/20kV DI GARDU INDUK 150kV
PALUR**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

RUFFUL JANAH

D 400 140 124

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



UMAR, S.T., M.T

NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PERHITUNGAN DAN PENGATURAN RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI
GANGGUAN TANAH PADA TRAFO III 60MVA 150/20kV DI GARDU INDUK 150 kV
PALUR

OLEH
RUFFUL JANAH
D 400 140 124

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 9 Juni 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, ST.MT
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Jatmiko, MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Hasyim Asy'ari, ST.MT
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sumarjono, M.T, Ph. D

NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 9 Juni 2018

Penulis



RUFFUL JANAH

D 400 140 124

ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGATURAN RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA TRAFO III 60MVA 150/20 kV DI GARDU INDUK 150 kV PALUR

Abstrak

Listrik merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan peranannya dalam kehidupan sehari-hari. Penyaluran atau pendistribusian tenaga listrik tidak lepas dari suatu sistem proteksi agar terhindar dari resiko gangguan yang tidak diinginkan. Biasanya gangguan yang sering terjadi ialah gangguan hubung singkat dimana gangguan hubung singkat ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik serta kerugian pada sistem transmisi kelistrikan maupun pada konsumen sebagai pengguna energi listrik. Sistem proteksi merupakan cara untuk mencegah dan membatasi kerusakan pada peralatan akibat gangguan, untuk melokalisasi gangguan tersebut dibutuhkan sistem proteksi yang memenuhi syarat diantaranya yaitu sensitiv, selektivitas, cepat dan handal yang semuanya bisa didapatkan dengan ketepatan setting peralatan proteksinya. Peralatan proteksi yang digunakan ialah relai arus lebih (*OCR*) dan relai arus gangguan tanah (*GFR*) yang bekerja mengintruksi pemutus tenaga agar membuka ketika terjadi gangguan. Peralatan proteksi yang terpasang harus dikoordinasi terlebih dahulu dengan menentukan operasi relai untuk setiap gangguan pada daerah proteksi relai. Analisa yang dilakukan bertujuan menghitung besar arus hubung singkat, menentukan setting relai proteksi serta membandingkannya dengan setting relai yang ada dilapangan. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai arus hubung singkat untuk tiga fasa yang paling terbesar yaitu $10689,90 \angle -85^\circ$ A dan nilai terkecil dari arus gangguan hubung singkat ke tanah yaitu $1148,31 \angle -73,9^\circ$ A. Nilai setting TMS yang didapatkan dari hasil perhitungan untuk OCR sisi penyulang 20kV adalah 0,24, GFR sisi penyulang adalah 0,192 dan setting untuk OCR sisi incoming 20kV adalah 0,25 dan GFR sisi incoming 20kV sebesar 0,41. Secara keseluruhan data hasil perhitungan dan data yang ada dilapangan tidak jauh berbeda hal ini dapat dikatakan relai masih dalam keadaan baik atau bekerja sesuai dengan settingnya.

Kata kunci: proteksi, relai arus lebih, setting relai

Abstract

Electricity is a source of energy that is needed role in everyday life. Distribution or distribution of electricity can not be separated from a protection system to avoid the risk of disruption that does not cool. Usually a frequent disruption is short circuit interruption where this short circuit can cause damage to electrical equipment as well as losses in electrical transmission systems as well as to consumers as users of electrical energy. Protection system is a way to prevent or limit damage of equipment due to interference, to localize the disturbance required a qualified protection system such as sensitivity, selectivity, fast and reliable that all can be obtained with the accuracy of setting protection equipment. The protective equipment used is the overcurrent relay (OCR) and ground disturbance current relay (GFR) which works to construct the breaker to open when interference occurs. The installed protection equipment shall be coordinated

by determining relay operation for any interference in the relay protection area. The analysis is aimed to calculate the amount of short circuit current, determine the relay protection setting and compare it with the relay setting in the field. Based on the results of the calculation, we get the most immediate three-phase short circuit current value is $10689.90 \angle -85^\circ$ A and the smallest value of short circuit current to ground is $1148.31 \angle -73.9^\circ$ A. TMS setting values obtained from the calculation results for OCR side 20kV is 0.24, the GFR side of the buffer is 0.192 and the setting for incoming 20kV incoming OCR is 0.25 and GFR of incoming side of 20kV is 0.41. Overall data calculations and existing data field is not much different it can be said relay still in good condition or work according to its setting.

Key words: protection, over current relay, setting relay

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan sumber energi yang penting peranannya bagi kehidupan manusia, di era modern ini energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari. Sampai saat ini, sistem perlindungan pembangkit terdistribusi menjadi masalah yang sering dibahas, dengan koneksi sumber ke sistem terdistribusi, bukan hanya nominal, tetapi juga kondisi kesalahannya akan terpengaruh (Jakub, 2017). Penyaluran dan pendistribusian sistem tenaga listrik tidak lepas dari peralatan proteksi. Sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada peralatan akibat dari gangguan. Jika gangguan tidak diatasi hal ini akan menyebabkan gangguan tersandungnya relai, koordinasi yang tidak tepat atau relai memiliki waktu delay yang lama (Kamal, 2014).

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat berupa gangguan temporer maupun permanen. Kondisi seperti ini menyebabkan gangguan pasokan dan dapat merusak peralatan listrik yang langsung terhubung ke sistem, yang menyebabkan pentingnya merancang sistem sistem perlindungan yang dapat diandalkan (Zellagui, dkk., 2015). Sistem transmisi dan distribusi merupakan sistem yang besar dan rumit yang membutuhkan sejumlah besar relai proteksi bekerja satu sama lain untuk menjamin operasi yang aman dan dapat diandalkan secara keseluruhan (Sajad, 2015). Relay proteksi merupakan salah satu alat proteksi yang bekerja mengamankan dan mengisolasi area yang terkena gangguan serta menjaga area yang tidak mengalami gangguan tetap menjalankan fungsinya.

Permasalahan koordinasi yaitu menentukan urutan relai untuk masing-masing lokasi gangguan yang memungkinkan adanya koordinasi tanpa waktu delay yang terlalu lama. Koordinasi proteksi merupakan bagian yang terpenting dalam sistem tenaga listrik karena untuk memastikan operasi sistem daya yang berkualitas dan andal, kesalahan listrik harus dibersihkan dalam waktu singkat, yang dapat dicapai dengan koordinasi yang tepat antara relai proteksi (Abdulfetah, 2017). Koordinasi intinya adalah memilih dan menentukan setting waktu untuk menentukan daerah proteksi terhadap gangguan sementara pada penyulang bila terjadi manuver/pelimpahan beban. Sebaiknya dalam penyetelan relai proteksi, arus gangguan yang dihitung tidak hanya titik gangguan, tetapi juga kontribusinya (arus gangguan yang mengalir di tiap cabang dalam jaringan yang menuju ke titik gangguan), oleh karena itu diperlukan cara menghitung arus gangguan hubung singkat yang dapat segera membantu dalam perhitungan penyetelan relai proteksi.

Arus hubung singkat yang bisa terjadi dalam sistem kelistrikan yaitu arus hubung singkat tiga fasa, arus hubung singkat dua fasa, dan arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Semua arus hubung singkat tersebut dihitung menggunakan rumus dasar yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(1)$$

Ket :

I = arus gangguan hubung singkat (Ampere)

V = tegangan (Volt)

Z = impedansi dari sumber ke titik gangguan (Ohm)

Arus hubung singkat 3 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$I_{3\text{ ph}} = \frac{V}{Z_1} \dots\dots\dots(2)$$

Arus hubung singkat 2 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$I_{2\text{ ph}} = \frac{V_{\text{ph}}}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(3)$$

Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$I_{1\text{ ph}} = \frac{3.V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots(4)$$

2. METODE

2.1 Studi literatur

Studi literatur merupakan langkah yang dimaksudkan untuk mencari jurnal, artikel dan mempelajari buku-buku sebagai referensi yang berhubungan dengan tema penelitian tugas akhir.

2.2 Pengambilan data

Pengumpulan data dilakukan di Gardu Induk 150kV Palur PT. PLN (Persero) Trans JBT APP Salatiga sehingga didapatkan nilai-nilai sebagai bahan analisa selanjutnya.

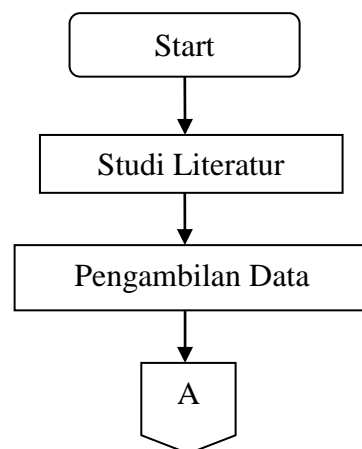
2.3 Perhitungan data

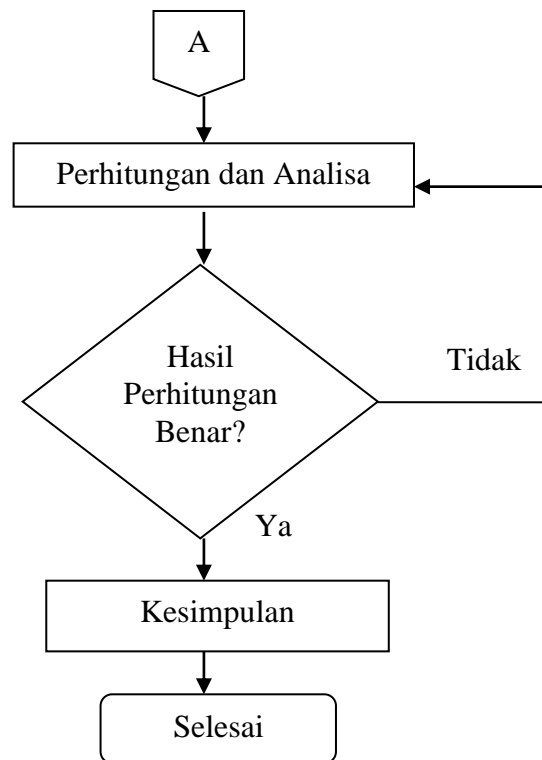
Perhitungan dilakukan dengan tujuan mendapatkan nilai yang dibutuhkan dalam setting sistem proteksi dimana hasil yang diperoleh menggunakan metode metode yang berbeda.

2.4 Analisa hasil

Hasil perhitungan yang telah didapatkan dibandingkan dengan data yang ada dilapangan yang nantinya untuk diambil kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

2.5 Flowchart





Gambar 1. *Flowchart* penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Agar dapat menghitung arus gangguan hubung singkat diperlukan data-data yang berhubungan dengan perhitungan arus gangguan hubung singkat, berikut merupakan beberapa data yang diambil di Gardu Induk 150kV Palur PT PLN (Persero).

Data trafo daya:

Merk	:PAUWELS
Daya	: 60 MVA
Tegangan	: 150/20 kV
Impedansi	: 13,0%
Reaktansi trafo	: 12,32%
Ratio CT	: 300/1
Arus Nominal	: 1732,1
Hub. Belitan Trafo	: Yyn0(d1)

3.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

a. Menghitung V per unit

$$\begin{aligned} V_{(pu)} &= \frac{\text{kV sebenarnya}}{\text{kV dasar}} \dots\dots\dots(5) \\ &= \frac{20\text{kV}}{20\text{kV}} \\ &= 1 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{dasar}} &= \frac{\text{kv}^2}{\text{MVA}} \dots\dots\dots(6) \\ &= \frac{20^2}{60} \\ &= 6,67 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$I_{\text{dasar}} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \cdot \text{kv}} \dots\dots\dots(7)$$

$$\begin{aligned} I_{\text{dasar}} &= \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 20} \\ &= 1732,1 \end{aligned}$$

b. Menghitung Impedansi Sumber sisi 20kV

$$\begin{aligned} Z_{\text{sumber}} &= \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}_{\text{hs}}} \dots\dots\dots(8) \\ &= \frac{20^2}{10392} \\ &= j \, 0,038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{pu}} &= j \frac{Z_{\text{zumber}}}{Z_{\text{dasar}}} \dots\dots\dots(9) \\ &= j \frac{0,038}{6,67} \\ &= j \, 0,005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{baru}} &= Z_{\text{lama}} \times \left(\frac{\text{kV lama}}{\text{kV baru}} \right)^2 \times \left(\frac{\text{MVA lama}}{\text{MVA baru}} \right) \dots\dots\dots(10) \\ &= 0,1232 \times \left(\frac{20}{20} \right)^2 \times \left(\frac{60}{60} \right) \\ &= 0,1232 \text{ pu} \end{aligned}$$

c. Menghitung impedansi pada penyulang :

Menurut data yang diperoleh, pada penyulang PLR13 menggunakan jenis penghantar AAAC 240mm² dengan panjang 2,835 km. Impedansi urutan positif (Z_1) = impedansi urutan negatif (Z_2)

$$Z_1 = Z_2 (\text{AAAC 240}) = (0,1344 + j0,3158) \Omega/\text{km} \times 2,835 \\ = 0,381 + j0,895$$

Z_1 dan Z_2 dalam pu

$$= \frac{0,318 + j0,895}{6,67} \\ = 0,057 + j0,134$$

$$Z_0 (\text{AAAC 240}) = (0,2824 + j1,6034) \Omega/\text{km} \times 2,835 \\ = 0,800 + j4,545$$

Z_0 dalam pu

$$= \frac{0,800 + j4,545}{6,67} \\ = 0,119 + j0,681$$

d. Menghitung Impedansi Ekvivalen Jaringan

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{iS(20kV)} + Z_T + Z_{\text{penyulang}} \dots \dots \dots (11) \\ = j0,038 + j0,821 + Z_{\text{penyulang}}$$

Z_{1eq} dan Z_{2eq} dalam pu

$$= \frac{j0,038 + j0,821}{6,67} \\ = j0,005 + 0,1232 + Z_{\text{penyulang}}$$

Tabel 1. Impedansi Ekvivalen Z_{1eq} (Z_{2eq})

Panjang Saluran (%)	Impedansi Penyulang Z_{1eq} (Z_{2eq})
25	$0.014 + j0,162$ pu
50	$0.028 + j0,195$ pu
75	$0.042 + j0,228$ pu
100	$0.057 + j0,262$ pu

$$Z_{0eq} = Z_{0T} + 3R_N + Z_{0\text{penyulang}} \dots \dots \dots (12) \\ = j8,21 + (3 \times 1) + Z_{0\text{penyulang}}$$

Z_{0eq} dalam pu

$$= \frac{j8,21 + 3}{6,67}$$

$$= j1,231 + 0,45 + Z_{0\text{penyulang}}$$

Tabel 2. Impedansi Ekvivalen Z_0

Panjang Saluran (%)	Impedansi Penyulang Z_{0eq}
25	$0,479 + j1,401 \text{ pu}$
50	$0,509 + j1,571 \text{ pu}$
75	$0,539 + j1,741 \text{ pu}$
100	$0,569 + j1,912 \text{ pu}$

e. Menghitung arus hubung singkat :

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{3ph} = \frac{V}{Z_1} \dots\dots\dots(13)$$

$$= \frac{1+j0}{0,014 + j0,162}$$

$$= \frac{1 \angle 0}{0,162 \angle 85,0}$$

$$= 6,172 \angle -85$$

$$= 6,172 \angle -85 \times 1732$$

$$= 10689,90 \angle -85 \text{ A}$$

Arus gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{2ph} = \frac{V_{ph}}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(14)$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0,014 + j0,162)}$$

$$= \frac{1,73+j0}{0,325 \angle 85,0}$$

$$= 5,323 \angle -85$$

$$= 5,323 \angle -85 \times 1732$$

$$= 9291,43 \angle -85 \text{ A}$$

Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$\begin{aligned}
I_{3ph} &= \frac{3.V}{Z_1+Z_2+Z_0} \dots\dots\dots(15) \\
&= \frac{3. (1+j0)}{2x(0,014+j0,162) + (0,479+j1,401)} \\
&= \frac{3 \angle 0}{3,27 \angle 72,4} \\
&= 0,917 \angle -72,4 \\
&= 0,917 \angle -72,4 \times 1732 \\
&= 1588,24 \angle -72,4
\end{aligned}$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Panjang Saluran (%)	Hubung Singkat Tiga Fasa	Hubung Singkat Dua Fasa	Hubung Singkat Satu Fasa ke tanah
25	10689,90 \angle -85 A	9219,43 \angle -85 A	1588,24 \angle -72,4 A
50	8791,63 \angle -81,8 A	7603 \angle -81,8 A	1408,11 \angle -73 A
75	7413 \angle -79,5 A	6470,7 \angle -79,5 A	1266,09 \angle -73,5 A
100	6462,09 \angle -77,7 A	5589,1 \angle -77,7 A	1148,31 \angle -73,9 A

3.2 Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah

a. Setting relai arus lebih penyulang sisi 20kV

Menghitung relai yang terpasang pada penyulang berdasarkan arus beban maksimum. Arus beban maksimum yang mengalir pada penyulang PLR13 menurut data yang diperoleh dari APJ adalah sebesar 371,42 A. Relai inverse biasanya diset antara 1,05 – 1,1 x Imaks. Setting relai perlu diperhatikan arus dan waktu kerja relai, relai penyulang harus bekerja lebih cepat daripada relai incoming dan lalu incoming harus bekerja lebih cepat dari sisi 150kv. Terdapat kesepakatan bersama menurut data dari PLN (Persero) tentang setting waktu kerja relai yang telah diteapkan yaitu pada sisi penyulang 0,5s, sisi incoming 1s, dan sisi 150kv. 1,5s (Galih, 2017).

$$I_{\text{beban}} = 371,42 \text{ Ampere, CT} = 800/5$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{set (primer)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots(16) \\
&= 1,05 \times 371,42 \\
&= 390 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set(primer)}} \times \frac{1}{\text{ratioCT}} \dots\dots\dots(17) \\
&= 390 \times \frac{5}{800} \\
&= 2,43 \text{ A}
\end{aligned}$$

Setting TMS:

$$\begin{aligned}
t &= \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots(18) \\
0,5 &= \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{10689,90}{390}\right)^{0,02} - 1} \\
\text{TMS} &= 0,24
\end{aligned}$$

b. Setting relai arus lebih sisi incoming 20kV

Setelan arus nominal trafo sisi 20kV :

$$\begin{aligned}
I_{n(20kV)} &= \frac{\text{MVA}}{\text{kV} \sqrt{3}} \dots\dots\dots(19) \\
&= \frac{60000}{20 \sqrt{3}} \\
&= 1732,1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{set(primer)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots(20) \\
&= 1,05 \times 1732,1 \\
&= 1818,7
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{set(sekunder)}} &= I_{\text{set(primer)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \text{ A} \dots\dots\dots(21) \\
&= 1818,7 \times \frac{1}{2500} \text{ A} \\
&= 0,727 \text{ A}
\end{aligned}$$

Setting TMS:

$$\begin{aligned}
t &= \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots(22) \\
1 &= \frac{0,14 \text{ TMS}}{\left(\frac{10689,90}{1818,7}\right)^{0,02} - 1}
\end{aligned}$$

$$TMS = 0,25$$

c. Setting relai gangguan tanah penyulang sisi 20kV :

Setting relai arus gangguan tanah pada penyulang diatur sebesar 10% x nilai arus gangguan tanah yang paling terkecil, hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur.

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 0,1 \times 1148 \\ &= 114,8 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \dots\dots\dots(23) \\ &= 114,8 \times \frac{5}{800} \\ &= 0,71 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting TMS :

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots(24) \\ 0,5 &= \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{1588,24}{114,8}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,192 \end{aligned}$$

d. Setting relai gangguan tanah incoming 20kV

Setting arus gangguan tanah pada sisi incoming 20 kV harus bekerja lebih sensitif, karena berguna sebagai cadangan bagi relai di sisi penyulang 20 kV, maka diatur 8% x nilai arus gangguan tanah yang paling terkecil.

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 0,08 \times 1148 \\ &= 91,84 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{ratioCT}} \dots\dots\dots(25) \\ &= 91,84 \times \frac{1}{2500} \\ &= 0,036 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Setting TMS:

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots(26)$$

$$1 = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{1588,24}{91,84}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{TMS} = 0,41$$

3.3 Waktu Pemeriksaan Kerja Relai

a. Waktu kerja relai 3 fasa

Penyulang 20kv:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} \\ &= \frac{0,14 \times 0,24}{\left(\frac{10689,90}{390}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,490 \end{aligned}$$

Incoming 20kV:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times 0,25}{\left(\frac{10689,90}{1818,7}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,970 \end{aligned}$$

b. Waktu kerja relai 2 fasa

Penyulang 20kV:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times 0,24}{\left(\frac{9219,43}{390}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,523 \end{aligned}$$

Incoming 20kV:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times 0,25}{\left(\frac{9219,43}{1818,7}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 1,061 \end{aligned}$$

c. Waktu kerja relai 1 fasa ke tanah

Penyulang 20kv:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times 0,192}{\left(\frac{1588,24}{114,8}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,498 \end{aligned}$$

Incoming 20kV:

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \times 0,41}{\left(\frac{1588,24}{91,84}\right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,978 \end{aligned}$$

Tabel 4. Waktu Kerja Relai Gangguan Tiga Fasa

Lokasi Gangguan	Waktu Kerja Relai Incoming	Waktu Kerja Relai Penyulang	Selisih Waktu
25%	0,970	0,490	0,48
50%	1,093	0,522	0,571
75%	1,227	0,553	0,674

100%	1,362	0,581	0,781
------	-------	-------	-------

Tabel 5. Waktu Kerja Relai Gangguan Dua Fasa

Lokasi Gangguan	Waktu Kerja Relai Incoming	Waktu Kerja Relai Penyulang	Selisih Waktu
25%	1,060	0,514	0,54
50%	1,205	0,548	0,65
75%	1,361	0,581	0,78
100%	1,541	0,614	0,92

Tabel 6. Waktu Kerja Relai Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Lokasi Gangguan	Waktu Kerja Relai Incoming	Waktu Kerja Relai Penyulang	Selisih Waktu
25%	0,978	0,498	0,48
50%	1,022	0,522	0,5
75%	1,065	0,546	0,519
100%	1,107	0,570	0,537

3.4 Hasil Perbandingan Perhitungan dengan Kondisi Eksisting

Tabel 7. Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Data Eksisting

No	Jenis Relai	Data Hasil Perhitungan	Data Eksisting
1	OCR (Incoming)	TMS = 0,25 Ratio CT = 2500/1 A	TMS = 0,24 Ratio CT = 2500/1 A
2	OCR (Penyulang)	TMS = 0,244 Ratio CT = 800/5 A	TMS = 0,275 Ratio CT = 800/5 A
3	GFR (Incoming)	TMS = 0,41 Ratio CT = 2500/1 A	TMS = 0,44 Ratio CT = 2500/1 A
4	GFR (Penyulang)	TMS = 0,192 Ratio CT = 800/5 A	TMS = 0,36 Ratio CT = 800/5 A

4. PENUTUP

Dari hasil perhitungan yang didapat maka diperoleh kesimpulan dibawah ini :

1. Jarak lokasi gangguan mempengaruhi nilai arus gangguan hubung singkat, semakin dekat lokasi gangguan maka semakin kecil nilai arus hubung singkat.

2. Berdasarkan data perhitungan nilai terbesar arus gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 10689,90 \angle -85 A dan nilai terkecil arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 1148,31 \angle -73,9 A
3. Relai penyulang bekerja lebih cepat dari relai incoming sesuai dengan settingnya. Besar dan kecilnya nilai waktu relai dipengaruhi jarak, semakin dekat jarak area yang terkena gangguan maka semakin kecil nilai waktu kerja relai.
4. Hasil perhitungan penyettingan :

OCR sisi Incoming 20kV :

$$I_{\text{set primer}} = 1818,7 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 0,727 \text{ A}$$

$$\text{TMS} = 0,25$$

GFR sisi Incoming 20kV:

$$I_{\text{set primer}} = 91,76 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 0,036 \text{ A}$$

$$\text{TMS} = 0,41$$

OCR sisi Penyulang 20kV :

$$I_{\text{set primer}} = 390 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 2,43 \text{ A}$$

$$\text{TMS} = 0,24$$

GFR sisi Penyulang 20kV:

$$I_{\text{set primer}} = 114,7 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 0,71 \text{ A}$$

$$\text{TMS} = 0,192$$

5. Dari hasil perhitungan yang didapat, kondisi relai masih dalam kondisi yang baik, relai dapat berkoordinasi dengan baik antara relai incoming dengan relai penyulang. Nilai perhitungan yang didapat tidak jauh berbeda (perbedaan tidak terlalu signifikan) dengan data yang ada dilapangan.

PERSANTUNAN

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena atas kehendak-Nya penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini, ucapan terima kasih tidak lupa penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang turut membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini diantaranya:

1. Kedua orangtua Bapak Supardi dan Ibu Wartini yang selalu ada untuk penulis, tidak pernah lelah untuk menyemangati dan selalu mendoakan. Terima kasih atas segalanya, penulis selalu bersyukur memiliki orangtua seperti mereka.

2. Bapak Sasmodiarjo Parman dan Ibu Sutarni yang sudah seperti orangtua kandung bagi penulis, terima kasih sudah menganggap penulis lebih dari anak.
3. Bagus Joko Prasetyo dan Fayumi Milati Azka yang selalu membuat penulis harus bisa menjadi contoh dan panutan yang baik untuk mereka.
4. Rini Wulandari dan Dini Nur Hidayati, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk semua semangat, motivasi, bantuan dan masih banyak lagi yang tak bisa disebutkan, maaf jika selalu merepotkan dan menyusahkan. Terima kasih sudah memberikan kesan yang tak terlupakan.
5. Teman-teman yang selalu membantu dan menyemangati, Siti Khoiriyah, Dyah Sekar Arum, Ayu Apriandani, Pratiwi Kusumasari, mas Galih, Reza, dan semua teman-teman Elektro 2014 yang selalu mewarnai hari-hari selama diperkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulfetah SHOBOLE, Mustafa BAYSAL, Mohammed WADI, Mehmet Rida TUR. 2017. *Protection Coordination Practice in Electrical Substation Part-I Overcurrent and Earth Fault Protection - Case Study of Siddik Kardesler Substation (SKS), Istanbul, Turkey*. Turkey: Gazi University Journal of Science.
- A. Kamal, S. Sankar, and R. Soundarapandian. 2014. *Optimal Over Current Relay Coordination of a Real Time Distribution System with Embedded Renewable Generation*.
- Jakub Ehrenberger, Jan Švec. 2017. *Directional Overcurrent Relays Coordination Problems in Distributed Generation Systems*. Prague: MDPI
- Sajad Samadinasab, Farhad Namdari, Nader Shojaei, Mohammad Bakhshipou. 2015. *Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays Using Hybrid Differential Evolutionary and Genetic algorithms (DE-GA)*. Iran: International Electrical Engineering Journal (IEEJ) India: Indian Journal of Science and Technology.

- Susanto Galih Dwi. 2017. *Analisis Koordinasi Overcurrent Relay Menggunakan Software ETAP 12.6.0 & ISA-TDMS 6.5*. Surakarta. Universitas Muhammdiyah Surakarta.
- Uma, Uma U., Onwuka, I.K. 2014. *Overcurrent Relay Setting Model for Effective Substation Relay Coordination*. Nigeria: IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)
- William D. Stevenson, JR., 1984, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Ke Empat, Erlangga, Jakarta.
- Zellagui, Mohamed., Benabid, Rabah., dkk. 2015. Optimal Overcurrent Relays Coordination in the Presence Multi TCSC on Power Systems Using BBO Algorithm. Algeria: MECS.